

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 100 993 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

18.02.2004 Patentblatt 2004/08

(51) Int Cl.7: **D21G 1/00**

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/DE1999/001876

(21) Anmeldenummer: **99939959.5**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 2000/000694 (06.01.2000 Gazette 2000/01)

(22) Anmeldetag: **28.06.1999**

(54) **WALZENGRUPPE**

ROLLER GROUP

GROUPE DE CYLINDRES

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE FI FR GB IT SE

(30) Priorität: **29.06.1998 DE 19828722**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

23.05.2001 Patentblatt 2001/21

(73) Patentinhaber: **Schwäbische Hüttenwerke GmbH**

D-73433 Aalen-Wasseraltingen (DE)

(72) Erfinder:

- **ZAORALEK, Heinz-Michael**
D-89551 Königsbronn (DE)

• **KRÜGER, Jürgen**

D-73430 Aalen (DE)

• **EPPLI, Bernd**

D-89551 Königsbronn (DE)

• **TENSEN, Julien**

D-85518 Heidenheim (DE)

(74) Vertreter: **Zirkel, Herbert**

Rechtsanwalt

Malergasse 15

73433 Aalen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

US-A- 5 438 920

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 100 993 B1

Beschreibung

[0001] Moderne Mehrwalzenkalender, in denen harte, beheizte und weiche, kunststoffbezogene Walzen gleichzeitig zum Einsatz kommen, könnten dann besonders wirkungsvoll für das Glätten von Papier eingesetzt werden, wenn die Mittelwalzen jeweils in ihren Lagern soweit angehoben würden, daß der darunterliegende Walzenspalt vom eigenen Walzengewicht entlastet wird. Dann wäre es möglich, durch eine Druckausübung auf das gesamte Walzenpaket mittels einer unteren und oberen Druckwalze, in allen Walzenspalten denselben Liniendruck von Null bis zum Druckmaximum einzustellen. Dies kann aber nur dann verwirklicht werden, wenn alle Walzen im Kalender weitgehend gleiche Biegelinien aufweisen, wenn sie in den Lagern am Zapfen gehalten und lediglich durch ihr eigenes Gewicht verbogen werden.

[0002] Der Vorschlag, einen Kalender mit solchen Walzen auszurüsten, geht z.B. aus dem US-Patent Nr. 5,438,920 hervor. Darin werden die Mittelwalzen ("intermediate rolls") beschrieben als Walzen, bei denen die Form der natürlichen Durchbiegungslinie, hervorgerufen durch ihr eigenes Gewicht, weitgehend gleich ist. Aus der Patentschrift geht allerdings nicht hervor, wie solche Walzen mit weitgehend gleichen Biegelinien hergestellt werden können. Dies ist nämlich keineswegs trivial und dem durchschnittlichen Fachmann nicht ohne weiteres möglich, selbst wenn er die prinzipiellen Zusammenhänge zwischen Gewicht eines Biegebalkens, seinem Trägheitsmoment, dem Elastizitätsmodul des Balkenwerkstoffes und dem Abstand der Auflager (vergl. z.B. Hütte, 28. Neubearbeitete Auflage, Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin 1955, S. 876 - 892), beherrscht.

[0003] Auch in der PCT-Patentanmeldung WO 95/14813 wird lediglich darauf hingewiesen, daß die Biegelinien, die durch die Schwerkraft bei jeder Mittelwalze erzeugt werden, so dimensioniert werden müssen, daß ihre Formen weitgehend gleich sind. Zur Frage, wie dies zu bewerkstelligen ist, gibt der Anmelder lediglich den Hinweis, daß die Mittelwalzen "so ausgesucht wurden". Derartige Selektionsverfahren sind z.B. bei der Herstellung von Kugeln mit weitgehend gleichen Durchmessern für Präzisionskugellager bekannt. Es ist für Kalenderwalzen aber wirtschaftlich kaum darstellbar, eine größere Zahl von Walzen herzustellen und darunter diejenigen auszusuchen, deren natürliche Biegelinien weitgehend übereinstimmen.

[0004] Eine ähnliche Aufgabenstellung besteht in sog. Doublierkalendern zur Erzeugung von mehrlagigen Tissuebahnen. In einem solchen Zweiwalzen-Kalender werden zwei oder mehrere getrennt hergestellte Lagen von feinen Papiergeweben zusammengeführt und leicht zusammengedrückt. Dadurch entsteht ein mehrlagiges Endprodukt wie z.B. Toilettenpapier oder Papiertaschentücher. Der Liniendruck im Walzenspalt ist weit niedriger, als er z.B. durch das bloße Auflegen der Oberwalze erzeugt würde. Auch hier muß der Walzenspalt weitgehend vom Eigengewicht der Oberwalze entlastet werden. Damit das Druckprofil im Walzenspalt gleichmäßig ist, ist es auch hier von Vorteil, Walzen mit weitgehend übereinstimmenden Biegelinien zu verwenden. Stand der Technik ist es hier, die Walzen aus gleichem Werkstoff und mit identischer Geometrie herzustellen und die unvermeidlichen Streuungen in den Werkstoffeigenschaften in ihrer Auswirkung auf die Biegelinien hinzunehmen. In einer anderen Ausführung wird eine sich natürlich durch ihr Eigengewicht durchbiegende Walze mit einer weiteren kombiniert, deren Biegelinie durch eine innere hydraulisch wirkende Verstellung der ersten angepaßt werden kann. Dies ist allerdings eine aufwendige und entsprechend teure Lösung.

Stand der Technik

[0005] Allgemein ist festzustellen, daß durchbiegungsgleiche Walzen im strengen Sinne bisher nicht verfügbar waren. Dies beruht auf einer ganzen Reihe von technischen Begrenzungen:

1) Beheizte Walzen in jeder Form von Kalendern für die Papierindustrie werden fast ausschließlich mit Körpern aus Schafenhartguß hergestellt. Eine wirtschaftliche Fertigung von Hartgußwalzen ist nur im Rahmen von bestimmten Durchmesserreihen möglich, da jeder Walzendurchmesser in einem korrespondierenden Satz von gußeisernen Formen - sog. Kokillen - abgegossen werden muß. Typischerweise sind diese Durchmesser in Stufen von zwei Zoll (ca. 50 mm) abgestuft. Gebräuchliche Durchmesser für Mehrwalzenkalender sind dementsprechend: z.B. 505 mm, 560 mm, 610 mm, 660 mm, 710 mm, 760 mm, 812 mm, 860 mm, 915 mm.

2) Die Fertigung ergibt einen gewissen Toleranzbereich des Außen-Durchmessers der Walzen. Dieser hat sich branchenüblich auf $\pm 1\%$ des Walzendurchmessers eingespielt. Da die maximale Auslenkung der Walze umgekehrt proportional zum Trägheitsmoment des Walzenquerschnittes ist, und dieser wiederum proportional zur 4. Potenz des Walzendurchmessers, bedeutet diese Toleranz bei ansonsten baugleichen Walzen bereits einen Unterschied in der Durchbiegung von $\pm 4\%$.

3) Hartguß ist ein sog. inhomogener Werkstoff. Die physikalischen Eigenschaften schwanken außer aufgrund der Zusammensetzung auch aufgrund von geringfügigen Unterschieden im Gefüge. An getrennt gegossenen oder sogar mitgegossenen Proben gemessene Werkstoffeigenschaften haben nur eine beschränkt genaue Aussage-

kraft für das effektive Gefüge im Walzenkörper selbst. Abweichungen beim Elastizitätsmodul, der an Proben bedingt durch die Inhomogenität und die Toleranz des Meßverfahrens nur auf wenige Prozent genau gemessen werden kann, haben eine umgekehrt proportionale Auswirkung auf die Durchbiegung. Die spezifische Dichte hat einen direkt proportionalen Einfluß. Auf diese Weise gemessene Werkstoffeigenschaften können nicht als Grundlage für die Auslegung benützt werden.

4) Einen starken Einfluß auf die Materialparameter hat außerdem die Abkühlgeschwindigkeit beim Guß, die entscheidend ist für die Dicke der reinen Schreckung ("weißes Eisen") und der sog. Übergangszone. Da das rein weiße Eisen etwa einen Elastizitätsmodul von 180.000 N/mm² und das graue Kerneisen typisch einen von ca. 100.000 N/mm² aufweist, führen Abweichungen in der relativen Verteilung der beiden Komponenten zu Variationen des durchschnittlichen Elastizitätsmoduls und damit ebenfalls zu einer unterschiedlichen Durchbiegung.

5) Ähnliche Variationen gibt es bei langen Walzen in axialer Richtung, da die Walzenkörper in der Form stehend gegossen werden.

6) Die zugehörigen polymerbezogenen Walzen sollten möglichst mit einem Durchmesser der fertigen Walze ausgeführt werden, welcher dem der beheizten, harten Walzen nahekommt oder einem benachbarten Durchmesser in der Standardreihe entspricht. Dann lassen sich harte und weiche Walzen in beliebiger Reihenfolge im Kalandermischen, was dem Papiermacher eine größere Flexibilität im Aufbau seines Kalanders beim Glätten verschafft. Durch die Dicke der Polymerschicht ist damit der Außen-Durchmesser des Walzenkerns festgelegt. Bei Verwendung der gebräuchlichen Walzenwerkstoffe, wie Grauguß oder Sphäroguß, stößt die Herstellung solcher Walzen mit identischen Biegelinien auf große Schwierigkeiten, weil die Elastizitätsmoduli sehr unterschiedlich sind.

7) Im Betrieb muß die Polymerschicht der elastischen Walzen nachgearbeitet werden. Sie verliert je nach Schichttyp bis zur Erneuerung der Schicht bis zu 15 mm an Stärke. Da die Schicht nur zum Gewicht der Walze beiträgt, nicht aber zur Steifigkeit, bedeutet dies, daß sich die "abgenützte" Walze weniger durchbiegt als die neue Walze.

Bei der Hartgußwalze ist dies genau umgekehrt. Die Walze wird zwar nur geringfügig im Durchmesser verkleinert, wenn sie nachgeschliffen wird, jedoch ist die Zahl der Schleifvorgänge relativ hoch. Im Laufe des Walzenlebens wird so die weiße Schreckschicht deutlich abgebaut. Da diese aber aufgrund ihres hohen Elastizitätsmoduls die Durchbiegung der Walze stark beeinflusst, wird sich bei einem Abschleifen dieser Schicht die Durchbiegung allmählich vergrößern.

8) Der Elastizitätsmodul sowohl des Hartgusses als auch anderer Eisenwerkstoffe ist temperaturabhängig. Während harte Walzen in der Regel bei Temperaturen um 120 °C und höher betrieben werden, werden die polymerbezogenen Walzenkörper allenfalls gleichmäßig temperiert. Auch daraus resultieren im Betrieb unterschiedliche Biegelinien.

9) Schließlich sind - besonders bei den polymerbezogenen Walzen - auch bauartbedingte Unterschiede von Bedeutung. Walzen werden z.B. peripher gebohrt oder auch mit einem Verdrängerkörper in der Zentralbohrung ausgeführt.

Beschreibung der Erfindung

[0006] Die Erfindung betrifft eine Gruppe weitgehend biegegleicher Walzen und das Verfahren zur Herstellung einer solchen Walzengruppe. Als biegegleiche Walzen sind erfindungsgemäß solche Walzen bezeichnet, die weitgehend übereinstimmende Durchbiegungen aufweisen. Unter Durchbiegung f soll die vertikale Auslenkung der Walzenachse bei Biegung der Walze in der Mitte des Walzenkörpers und bezogen auf die Position der Walzenachse an den Bahnen verstanden werden. Während die Biegelinie nur sehr aufwendig gemessen werden kann, werden im folgenden verschiedene Wege aufgezeigt, die Durchbiegung zu bestimmen. Für den beabsichtigten Zweck kann die Ermittlung und Beeinflussung der Durchbiegung mit hinreichender Genauigkeit diejenige der Biegelinie ersetzen.

[0007] Eine derartige Walzengruppe besteht zumindest aus zwei, wenn es sich um einen Vielwalzenkalanders handelt, aus mehreren übereinander angeordneten Walzen, von denen mindestens eine über einen Walzenkörper aus Hartguß bzw. Schalenhartguß verfügt, sowie weiteren Walzen mit Walzenkörpern ebenfalls aus Hartguß bzw. Schalenhartguß oder aus einem Gußeisen mit lamellarer, vermikularer oder sphärischer Graphitausbildung, die dann mit einem elastischen Bezug versehen sind. Eingeschlossen werden die Walzen durch je eine Ober- und Unterwalze, die in ihrer Durchbiegung durch hydraulische Einbauten einstellbar sind und es außerdem ermöglichen, den auf die Walzengruppe ausgeübten Liniendruck zu variieren. Die Probleme der unterschiedlichen Durchbiegung können für kleine Walzen mit Durchmesser kleiner als 500 mm und einem Verhältnis von Bahnlänge : Durchmesser kleiner als 7 ver-

nachlässigt werden.

[0008] In einer derartigen Walzengruppe ist zwischen einer sog. Referenzwalze und den davon abhängigen Walzen zu unterscheiden. Darin sind die Ober- und Unterwalzen nicht inbegriffen, weil deren Durchbiegung nicht ausschließlich durch das Eigengewicht, sondern aktiv durch Druckeinstellungen in den hydraulischen Einbauten verändert werden kann.

[0009] Erfindungsgemäß ist die Referenzwalze eine Hartguß- oder Schalenhartgußwalze, die eine Zentralbohrung hat, mit einer Wandstärke zwischen 100 und 300 mm und einer natürlichen Durchbiegung unter dem Einfluß der Schwerkraft bei Aufhängung in ihren Lagern, die an den Zapfen angeordnet sind, zwischen 0,1 und 0,2 mm je Meter Bahnlänge. Der Durchmesser der Zentralbohrung liegt etwa in der Mitte eines Bereiches, dessen oberes Ende durch die konstruktiv bestimmte minimale Wandstärke des Walzenkörpers und dessen unteres Ende durch ein möglichst geringes Walzengewicht bestimmt ist.

[0010] Die sonstigen Walzen in der Walzengruppe können sowohl aus Hartguß oder Schalenhartguß sein, aber auch aus anderen geeigneten Werkstoffen hergestellt werden. Wenn sie mit einem elastischen Überzug versehen sind, werden sie im allgemeinen aus Gußeisen bestehen, können aber auch aus Schmiedestahl bestehen. Ihr Gewicht ohne Zapfen entspricht der Formel

$$G = G_{\text{ref}} \times E \times J \times f / (E_{\text{ref}} \times J_{\text{ref}} \times f_{\text{ref}})$$

[0011] Dabei sind:

G_{ref} = Gewicht des Referenzwalzenkörpers (N) (ohne Zapfen) im Bereich der Bahnlänge L
 E_{ref} = Elastizitätsmodul des Referenzwalzenkörpers (N/m²)
 J_{ref} = Trägheitsmoment des Querschnitts des Referenzwalzenkörpers (m⁴)
 f_{ref} = Durchbiegung der Referenzwalze (m)
 E = Elastizitätsmodul (N/m²)
 J = Trägheitsmoment des Walzenquerschnitts (m⁴)
 f = angestrebte Durchbiegung (m)

[0012] Ihre Zentralbohrung entspricht der Formel:

$$\text{Bohrungsdurchmesser} = (D^4 - G \times K_G / (f \times E))^{1/4}$$

soweit die Walzenkörper keine peripheren Bohrungen aufweisen. Mit peripheren Bohrungen gilt:

$$\text{Bohrungsdurchmesser} = (D^4 - Z_p \times D_p^2 \times (D_p^2 + 2 \times T_p^2) - G \times K_G / (f \times E))^{1/4}$$

[0013] Dabei sind:

G = Gewichtskraft des Walzenkörpers (N) im Bereich der Bahnlänge
 E = Elastizitätsmodul (N/m²)
 D = Außen-Durchmesser (m)
 f = anzustrebende Durchbiegung (m)
 K_G = Gruppenkonstante (m³) nach Gleichung (3)
 Z_p = Zahl der peripheren Bohrungen
 D_p = Durchmesser der peripheren Bohrungen (m)
 T_p = Teilkreis (m) der peripheren Bohrungen

[0014] Handelt es sich dabei um Walzen mit elastischen Bezügen, haben diese Bezüge eine Stärke von zwischen 10 und 30 mm und einen tragenden metallischen Körper mit dem Durchmesser

$$D = D_{\text{rel}} - 2 \times (d_p - a_p)$$

[0015] Dabei sind:

D_{rel} = Relativer Durchmesser (m)
 dp = Dicke des neuen Polymerbezuges (m)
 ap = max. mögliche Abnutzung des Polymerbezuges (m).

5 **[0016]** Für den Durchmesser D gilt zugleich

$$D = (16 \times G \times K_G / (15 \times E \times f_{ref}))^{1/4}$$

10 mit dem endgültigen D als dem nächsten wirtschaftlich herzustellenden Durchmesser.

[0017] Dabei sind:

G = Gewichtskraft des Walzenkörpers (N) im Bereich der Bahnlänge L
 E = anzustrebender Elastizitätsmodul (N/m²), z.B. 180.000 für Grauguß mit kugelförmigem Graphit
 15 f_{ref} = Durchbiegung (m) der Referenzwalze
 K_G = Gruppenkonstante (m³) nach der folgenden Gleichung:

$$K_G = (5/(6 \times \pi)) \times L^3 \times (1 + 2,4 \times (LM-L) / L + 2 \times (D_{ref} / L)^2)$$

20 **[0018]** Dabei sind:

π = Kreiskonstante (3,14159...)

25 L = Bahnlänge der Walzengruppe (m)

LM = Lagermittenabstand der Walzengruppe (m)

30 D_{ref} = Durchmesser der Referenzwalze (m)

[0019] Damit die Anordnung der Walzen im Kalanders relativ frei zu gestalten ist, werden sinnvollerweise Walzen verwendet, die in ihren äußeren Durchmessern im wesentlichen gleich sind. Unerwünschte Schwingungen der Walzen können vermieden werden, wenn diese so dimensioniert sind, daß sie nicht in der Nähe der halbkritischen Drehzahl betrieben werden müssen. Schließlich können alle Walzen zur noch genaueren Bestimmung der Durchbiegung mit Ballaststoffen oder -körpern in der Zentralbohrung oder den peripheren Bohrungen versehen sein, die auch während des Betriebs zu- oder abgeführt oder verstellt werden können.

[0020] Im Folgenden sei die Herstellung einer entsprechenden Walzengruppe des näheren beschrieben:

[0021] Die Bestimmung der Walzendurchmesser für Walzen eines Mehrwalzenkalenders beginnt mit den Hartgußwalzen, weil diese nach der maximal zulässigen Durchbiegung erfolgen sollte. Sie wird bestimmt durch die technischen Möglichkeiten der Durchbiegungskompensation der Ober- und Unterwalzen, die bei Vielwalzenkalandern in der Regel über diese Möglichkeit verfügen. Zweckmäßigerweise wird eine Hartgußwalze als Referenzwalze bestimmt. Der äußere Durchmesser und der Durchmesser der Zentralbohrung, die jede größere Walze zur Gewichtsreduzierung aufweist, sollte etwa in der Mitte der jeweiligen Toleranz- bzw. Machbarkeitsfelder liegen.

[0022] Im Rahmen der erwarteten Streuung des Elastizitätsmoduls wird dann ein zulässiger Bereich für die Durchbiegung bestimmt. Dieser Bereich kann dadurch eingengt werden, daß man die Auswirkung unterschiedlicher Elastizitätsmoduli auf die Durchbiegung durch Modifikation des Durchmessers der Zentralbohrung kompensieren kann.

[0023] Die Durchbiegung einer in den Lagern aufgehängten Walze wird nämlich durch das Gewicht des Walzenkörpers, den Elastizitätsmodul des Walzenwerkstoffes und das Trägheitsmoment des Walzenquerschnitts bestimmt. Durch die Verkleinerung der Zentralbohrung wird das Gewicht vergrößert und das Trägheitsmoment erhöht, letzteres jedoch nur in geringerem Maße, so daß die Walzendurchbiegung durch die Verkleinerung der Bohrung vergrößert werden kann.

[0024] Innerhalb der üblichen Fertigungstoleranzen von Walzen aus Hartguß oder Schalenhartguß kann der äußere Durchmesser des Walzenkörpers fertigungsbedingt um +/- 1 % schwanken. Diese Toleranz kann mit einem gewissen Mehraufwand eingeschränkt werden, den man im allgemeinen vermeidet, weil eine Einstellung auf unterschiedliche Walzendurchmesser im Kalanders auf einfache Weise möglich ist. Für die Herstellung weitgehend biegegleicher Walzen kann diese relativ geringe Spanne genutzt werden, weil eine Variation des Außen-Durchmessers von nur +/- 1 % die Durchbiegung der Walze unter ihrem Eigengewicht um ca. +/- 2 % verändert.

[0025] Allerdings ist bei der endgültigen Festlegung des Außen-Durchmessers zu berücksichtigen, daß durch Nach-

schleifen im Verlauf der Nutzung der Walze eine Durchmesser verringering erfolgt. U.U. ist ein Kompromiß dahingehend zu finden, daß die Nutzungsdauer der Walze und damit das zulässige Nachschleif-Aufmaß reduziert wird.

[0026] Erfindungsgemäß ist weiter der Durchmesser D des mit einem Polymerbezug zu versehenen Walzenkörpers, entsprechend der Beanspruchung des Bezuges und seiner Haltbarkeit, festzulegen. Bei sehr hohen Belastungen durch Liniendruck, Umdrehungsgeschwindigkeit und Temperaturen bzw. weniger haltbaren Bezügen wird man sich für einen möglichst großen Walzendurchmesser entscheiden. Im Hinblick auf die gewünschte Biegegleichheit wird dann ein Werkstoff mit einem niedrigen Elastizitätsmodul zwischen 90.000 und 120.000 N/mm² eingesetzt.

[0027] Umgekehrt kann man bei niedriger Beanspruchung des elastischen Bezuges bzw. einem hoch belastbaren elastischen Bezugsmaterial einen kleineren Walzendurchmesser vorsehen. Dann ist vorzugsweise ein Elastizitätsmodul zwischen 170.000 und 185.000 N/mm² einzusetzen.

[0028] Für mittlere Belastungen wird erfindungsgemäß ein Gußeisen eingesetzt, dessen Elastizitätsmodul in einem weiten Bereich zwischen 130.000 und 160.000 N/mm² liegt.

[0029] Teil der Erfindung ist deshalb auch die Möglichkeit, den Elastizitätsmodul von Gußeisen in großen Walzenkörpern den Erfordernissen der Herstellung von Walzen mit weitgehend gleichen Durchbiegungen entsprechend zu beeinflussen. Er hängt maßgeblich von dem in das Eisengefüge eingelagerten Graphit ab. Ist dieser in Form von Lamellen ausgebildet (Grauguß), dann entsteht bei Zugbelastung eine Kerbwirkung, welche den Grundwerkstoff schwächt und den Elastizitätsmodul stark vermindert. Er beträgt dann 100.000 N/mm² und weniger. Durch das Zulegieren von Magnesium werden die Oberflächenspannungen im flüssigen Zustand soweit verändert, daß sich der Graphit kugelförmig einformt (Sphäroguß). Die Verringerung des Elastizitätsmoduls des Grundwerkstoffes ist dann nur noch gering. Werte bis 185.000 N/mm² werden erreicht.

[0030] Erfindungsmäßig wird nun die Impftechnik und die Magnesiumdotierung so modifiziert, daß sich bei der Graphitausscheidung Zwischenformen von lamellar und kugelig einstellen (vermikulares Gußeisen). Diese Zwischenformen ermöglichen es, den Elastizitätsmodul des Werkstoffes in einem Bereich zwischen 110.000 und 170.000 N/mm² - vorzugsweise zwischen 130.000 und 160.000 N/mm² - einzustellen, gerade so, wie man dies aufgrund der Vorgaben benötigt. Allerdings ist die Technik dafür mit einer relativ großen Streubreite der entscheidenden Werkstoffeigenschaften belastet, weil schon geringste Variationen in Legierung und Impfung erhebliche Auswirkungen auf den Elastizitätsmodul haben. Deshalb kommt einer exakten Feststellung des tatsächlichen Elastizitätsmoduls von Walzen nicht nur für die jeweils zu betrachtende Walze selbst, sondern auch als Grundlage für die fortlaufend zu treffenden Werkstoffentscheidungen in zukünftigen Fällen besondere Bedeutung zu.

[0031] Aus dem Kerndurchmesser und den konstruktiv möglichen Durchmessern der Zentralbohrungen ergibt sich aus der Biegeformel ein Bereich für die zulässigen Elastizitätsmoduli des Walzenwerkstoffes. Dabei ist die Größe der Bohrung nach oben durch die Profilstörung im Randbereich der Walze begrenzt, die sich aus der Tatsache der Ovalisierung des Walzenkörpers unter einer Linienbelastung ergibt, aber auch durch die Notwendigkeit der Unterbringung von Heiz- bzw. Kühlbohrungen im Walzenkörper, die der Glättprozeß erfordert oder die Steigerung der Haltbarkeit von elastischen Kunststoffbezügen. Nach unten wird die Bohrung bei Walzen mit großen Außen-Durchmessern zur Begrenzung der Walzengewichte ebenfalls begrenzt.

[0032] Als Durchmesser D des Walzenkörpers für weitgehend biegeungsgleiche Walzen mit einem elastischen Bezug wird erfindungsgemäß

$$D = D_{\text{rel}} - 2 \times (dp - ap)$$

ausgewählt.

[0033] Dabei sind:

D_{rel} = Relativer Durchmesser (m)

dp = Dicke des neuen Polymerbezuges (m)

ap = max. mögliche Abnutzung des Polymerbezuges (m).

[0034] Der relative Durchmesser D_{rel} entspricht bei Walzen mit einem elastischen Bezug mit Grundkörpern aus Grauguß mit lamellarem Graphit ungefähr dem in der Reihe der Standarddurchmesser nächsthöheren, bei Grauguß mit kugelförmigem Graphit ungefähr dem in der Reihe der Standarddurchmesser nächstniedrigen oder bei einem Walzengrundkörper aus Grauguß mit vermikularem Graphit ungefähr dem Durchmesser der Referenzwalze. Da bei diesen Werkstoffen - anders als beim Schalenhartguß - die Bearbeitungszugabe abgesehen von Wirtschaftlichkeitserwägungen frei gewählt werden kann, handelt es sich bei dieser Festlegung nur um Richtwerte.

[0035] Der fertige Durchmesser D des Walzenkörpers ist so zu wählen, wie er sich aus der Formel

EP 1 100 993 B1

$$D = (16 \times G \times K_G / (15 \times E \times f_{\text{ref}}))^{1/4}$$

als nächster wirtschaftlich herzustellender Durchmesser ergibt.

5 **[0036]** Dabei sind:

G = Gewichtskraft des Walzenkörpers (N) im Bereich der Bahnlänge L
 E = anzustrebender Elastizitätsmodul (N/m²), z.B. 180.000 für Grauguß mit kugelförmigem Graphit
 f_{ref} = Durchbiegung (m) der Referenzwalze
 10 K_G = Gruppenkonstante (m³) nach der folgenden Gleichung

$$K_G = (5/(6 \times \pi)) \times L^3 \times (1 + 2,4 \times (LM-L) / L + 2 \times (D_{\text{ref}} / L)^2)$$

15 **[0037]** Dabei sind:

π = Kreiskonstante (3,14159...)
 L = Bahnlänge der Walzengruppe (m)
 LM = Lagermittenabstand der Walzengruppe (m)
 20 D_{ref} = Durchmesser der Referenzwalze (m)

[0038] Da die Gewichtskraft G des Walzenkörpers abhängig von seinem Durchmesser ist, ist dieser endgültig durch Iteration oder weitere Berechnung zu ermitteln.

25 **[0039]** Da die Materialkennwerte, wie z.B. der Elastizitätsmodul, aus kleinen Proben nicht ausreichend präzise bestimmt werden können, ist es schließlich Bestandteil der Erfindung, daß der mittlere Elastizitätsmodul der ganzen Walzenkörper im Verlauf des Fertigungsprozesses durch Biegeversuche des ganzen Walzenkörpers bestimmt und kontrolliert wird, womit jeweils Anhaltspunkte für die weitere Bearbeitung der Walzenkörper gewonnen werden. Dazu wird der Walzenkörper aufgelagert und durch das Aufbringen von definierten Kräften verbogen. Die Verbiegung des ganzen Körpers wird gemessen. Alle über den Querschnitt veränderlichen Materialeigenschaften, wie z.B. der Elastizitätsmodul und die spezifische Dichte werden so gemeinsam und gleichzeitig erfaßt. Daraus kann der tatsächliche
 30 mittlere Elastizitätsmodul berechnet werden. Mit fortschreitender Bearbeitung des Hartgußkörpers (Schruppdrehen der Oberfläche, Zentralbohrung, Einbringen von peripheren Bohrungen) können diese Messungen im Bedarfsfall wiederholt und so ein einigermaßen endgültiger mittlerer Elastizitätsmodul bestimmt werden, für den dann der genaue Durchmesser der Zentralbohrung festgelegt werden kann, welcher die gewünschte Durchbiegung erzeugt. Ohne periphere Bohrungen gilt:
 35

$$\text{Bohrungsdurchmesser} = (D^4 - G \times K_G / (f \times E))^{1/4}$$

40 **[0040]** Mit peripheren Bohrungen gilt:

$$\text{Bohrungsdurchmesser} = (D^4 - Z_p \times D_p^2 \times (D_p^2 + 2 \times T_p^2) - G \times K_G / (f \times E))^{1/4}$$

45 **[0041]** Dabei sind:

G = Gewichtskraft des Walzenkörpers (N) im Bereich der Bahnlänge
 E = Elastizitätsmodul (N/m²)
 D = Außen-Durchmesser (m)
 50 f = anzustrebende Durchbiegung (m)
 K_G = Gruppenkonstante (m³) nach o.a. Gleichung
 Z_p = Zahl der peripheren Bohrungen
 D_p = Durchmesser der peripheren Bohrungen (m)
 T_p = Teilkreis (m) der peripheren Bohrungen
 55

[0042] Als Meßverfahren für die Durchbiegung des gesamten Walzenkörpers in verschiedenen Fertigungszuständen werden beispielsweise erfindungsgemäß genutzt:

Lichtstrahl-Methode:

[0043] Der Walzenkörper, dessen Gewicht zuvor mittels einer Präzisionswaage auf 0,5 % genau bestimmt wurde, ist an den Enden auf Rollenböcken gelagert. Auf der Oberseite des Walzenkörpers ist in der Mitte eine Lichtquelle - z.B. ein Laser - befestigt, deren Strahl geteilt und axialparallel auf zwei Weg-Sensoren gerichtet ist, die jeweils an den Walzenenden angebracht sind. Die radiale Position der Auftreffpunkte auf die Sensoren wird festgehalten. Nach einer Drehung des Walzenkörpers um 180° wird die Verschiebung der radialen Position der Auftreffpunkte ein zweites Mal gemessen. Diese Verschiebungen sind ein Maß für den zweifachen Wert der Durchbiegung des Walzenkörpers in der Walzenmitte unter seinem Eigengewicht. Mit den gemessenen Werten für den äußeren und inneren Durchmesser des Walzenkörpers, sowie dem Abstand zwischen den Rollenböcken sowie den Sensoren kann dann der genaue durchschnittliche Elastizitätsmodul des Walzenkörpers ermittelt werden.

$$E = G \times L^3 / (38,4 \times f \times J)$$

[0044] Dabei sind:

E = Elastizitätsmodul in (N/m²)
 G = Gewichtskraft des Walzenkörpers (N) im Bereich der Bahnlänge L
 L = Abstand zwischen den Rollen (m)
 f = gemessene Veränderung der Durchbiegung (m)
 J = Trägheitsmoment des Walzenquerschnittes (m⁴)

[0045] Die Lichtstrahl-Methode hat den Vorteil, daß eine Messung auch an einer fertigen Walze erfolgen kann, wenn die Walze in ihren eigenen Lagern gedreht werden kann. Die Gleichung zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls ist dann:

$$E = G \times K_G \times \pi / (32 \times L \times f \times J)$$

[0046] Dabei sind:

G = Gewichtskraft des Walzenkörpers (N) im Bereich der Bahnlänge L
 K_G = Gruppenkonstante (m⁴) nach der o.a. Gleichung
 n = Kreiskonstante (3,14159...)
 L = Bahnlänge (m)
 f = gemessene Veränderung der Durchbiegung (m)
 J = Trägheitsmoment des Walzenquerschnittes (m⁴)

Meßbalken-Methode:

[0047] Ein biegesteifer Meßbalken wird in axialer Richtung auf den Walzenkörper gelegt, wobei er durch Auflager an den Walzenenden gestützt wird. Eine Abstandsmeßvorrichtung, z.B. eine Meßuhr, mißt den Abstand des Walzenkörpers zum Meßbalken in der Walzenmitte. Wird nunmehr eine definierte vertikale Kraft in der Walzenmitte auf den Walzenkörper ausgeübt, verformt diese jenen, nicht aber den Meßbalken. Aus der Veränderung des Abstandes zwischen Meßbalken und Walzenkörper in der Walzenmitte und den Abmessungen des Walzenkörpers kann direkt der genaue durchschnittliche Elastizitätsmodul errechnet werden:

$$E = P \times L^3 / (48 \times f \times J)$$

[0048] Dabei sind:

E = Elastizitätsmodul (N/m²)
 P = ausgeübte Kraft (N)
 L = Abstand zwischen den Auflagern (m)
 f = gemessene Veränderung der Durchbiegung (m)
 J = Trägheitsmoment des Walzenquerschnittes (m⁴)

[0049] Da der Elastizitätsmodul von Gußeisenwerkstoffen lastabhängig ist, sollte die Messung unter verschiedenen Kraftniveaus wiederholt werden.

Meßbrücken-Methode:

[0050] Die Messung läßt sich auch ähnlich der Meßbalken-Methode durchführen, wenn der Walzenkörper auf einem stabilen Untergrund an den Enden gelagert wird. Von Meßbrücken an den Enden und in der Walzenkörpermitte läßt sich die vertikale Verschiebung an diesen Stellen im Raume durch das Aufbringen einer definierten vertikalen Kraft messen. Ein eventuelles elastisches Nachgeben der Auflager kann so rechnerisch eliminiert werden. Die Formel zur Bestimmung des mittleren Elastizitätsmoduls entspricht der Formel (7), wobei die Durchbiegung f wie folgt bestimmt wird:

$$f = f_m - (f_1 + f_2) / 2$$

[0051] Dabei sind

f_m = Anzeige in der Walzenmitte (m)

f_1, f_2 = Anzeige an den Walzenenden (m)

Eigenfrequenz-Methode:

[0052] Aus der gemessenen Eigenfrequenz eines Biegebalkens, der an beiden Enden aufgelagert ist, läßt sich über den einfachen Zusammenhang

$$f = g / (4 \times \pi^2 \times n^2)$$

die Durchbiegung bei Eigengewicht und damit der genaue durchschnittliche Elastizitätsmodul des Walzenkörpers bestimmen.

[0053] Dabei sind:

π = Kreiskonstante (3,14159...)

n = Eigenfrequenz (1/s)

g = Erdbeschleunigung (= 9,81 m/s²)

[0054] Im Hinblick auf die erfindungsgemäße Anwendung dieser Meßverfahren ist gemeinsam, daß auch größere systematische Fehler der jeweiligen Meßmethode keine Rolle spielen, solange die Meßergebnisse mit einer Genauigkeit < 1% reproduzierbare Ergebnisse liefern. Die für die erfindungsgemäß hergestellte Walzengruppe gemeinsame gleiche Durchbiegung kann absolut von der Messung abweichen, dennoch können Walzen mit zueinander im wesentlichen gleichen Durchbiegungen hergestellt werden.

[0055] Es ist allerdings bisher bei der Herstellung von Kalandervalzen für die Papierindustrie nur in Ausnahmefällen üblich, das genaue Gewicht der Walzen durch Wiegen zu bestimmen. Wegen des nicht geringen Aufwandes bei der Bestimmung der hohen Walzengewichte werden Wägungen an einzelnen Walzenkörpern selten durchgeführt. Üblich sind näherungsweise Berechnungsformeln, die sich auf Erfahrungswerte stützen.

[0056] Für peripher gebohrte Walzen der Walzengruppe mit elastischem Bezug kann z.B. die folgende Formel für die Gewichtskraft G der ganzen Walze mit einer Genauigkeit von wenigen Prozent angewandt werden

$$G = 60000 \times (D^2 - B^2) \times L$$

[0057] Dabei sind:

D = Durchmesser (m) des Walzenkörpers

B = Bohrungsdurchmesser (m)

L = Bahnlänge (m)

[0058] Für die Herstellung und den Betrieb von ganzen Walzengruppen mit weitgehend gleichen Durchbiegungen

ist die Feststellung der genauen Walzengewichte jedoch, wie bei den anzuwendenden Meßmethoden aufgezeigt, wichtig, weil diese aufgrund der unterschiedlichen Walzendurchmesser, der elastischen Bezüge, der unterschiedlichen spezifischen Werkstoffgewichte und der zur Erzeugung der weitgehend gleichen Durchbiegungen zu dimensionierenden Zentralbohrungen erheblich schwanken können. Erfindungsgemäß sind darum die Walzengewichte der neuen Walzen durch geeichte Präzisionswagen genau zu bestimmen und bei der erfindungsgemäßen Ermittlung des Durchmessers der Zentralbohrung zugrunde zu legen. Es ist auch zweckmäßig, die Gewichte der Walzendokumentation beizufügen. Die Veränderung der Walzengewichte im Betrieb durch z.B. abnutzungsbedingtes Nacharbeiten kann auf dieser Basis mit ausreichender Genauigkeit nachvollzogen werden.

[0059] Wie weiter oben erwähnt, verändert sich die Durchbiegung von Kalandervalzen im Laufe ihrer betrieblichen Nutzung. Bei Walzen aus Schalenhartguß wird durch regelmäßiges Nachschleifen die harte und wegen ihres hohen Elastizitätsmoduls zur Biegesteifheit der Walze überproportional beitragende Schreckschicht allmählich verringert. Die Durchbiegung dieser Walzen nimmt dementsprechend zu. Bei Walzen mit einem elastischen Bezug trägt dieser so gut wie gar nicht zur Biegesteifheit der Walze bei. Er erhöht jedoch das Walzengewicht. Wird dieser Bezug - was in regelmäßigen Abständen geschieht - nachgearbeitet, verringert sich das Walzengewicht und damit die Durchbiegung.

[0060] Eine weitere Veränderung der Durchbiegung ergibt sich bei Variationen der Betriebstemperatur aufgrund des mit steigender Temperatur abnehmenden Elastizitätsmoduls. Je nach dem angestrebten Glättergebnis wird die Temperatur der Heizwalzen und der Liniendruck im Kalandr erhöht. Während die Temperatur der beheizten Walzen aus Schalenhartguß mittels einem flüssigen oder gasförmigen Wärmeträgermediums, das die Walzenkörper durchströmt, direkt beeinflußt wird, erhöht ein verstärkter Druck die Walkarbeit in den elastischen Bezügen. Die so erzeugte Reibungswärme führt zu Temperatursteigerungen der Bezüge und der Walzenkörper. Vielfach werden diese darum mit Kühlmöglichkeiten ausgerüstet. Beide Effekte sind die Ursache dafür, daß es nicht möglich ist, die Walzen in einer Walzengruppe so auszuliegen, daß diese unter allen Betriebsbedingungen und für die gesamte Nutzungszeit der Walzen genau gleiche Durchbiegungen aufweisen, obwohl das oben beschriebene erfindungsgemäße Fertigungsverfahren eine sehr präzise Fertigung ermöglicht. Zwei Extremsituationen lassen sich für die Walzengruppe beschreiben. Einmal der Auslieferungszustand mit Temperaturen in der Nähe der Umgebungstemperatur und zum anderen der jeweilige Zustand bei maximalem Verschleiß der Arbeitsschicht und maximaler Betriebstemperatur der beheizten Hartgußwalzen. Hätten die Walzen im Auslieferungszustand übereinstimmende Durchbiegungen unter dem Einfluß der Schwerkraft, würden die Durchbiegungen mit zunehmendem Verschleiß und steigender Temperatur der beheizten Hartgußwalzen immer weiter auseinanderdriften. Es ist erfindungsgemäß darum vorgesehen, die Durchbiegung der Walzen mit elastischen Bezügen im Auslieferungszustand zunächst etwas stärker einzustellen. Dazu werden rechnerisch die Durchbiegungen zueinander ins Verhältnis gesetzt:

Durchbiegung Hartgußwalze : Durchbiegung Polymenwalze

[0061] Im Auslieferungszustand sollte dieses Verhältnis < 1 sein und im Zustand der jeweils maximalen Abnutzung und Betriebstemperatur > 1 . Durch entsprechende Festlegung der Fertigdurchmesser der Bohrungen können die extremen Verhältnisse vorzugsweise so eingestellt werden, daß sie etwa denselben absoluten Abstand zu 1 aufweisen. Damit ist sichergestellt, daß die Durchbiegungen auch bei beliebiger Kombination von Walzen innerhalb der Gruppe stets weitgehend gleich sind.

[0062] Dies kann auch durch eine Auslegung der Fertigdurchmesser der Bohrungen in der Weise erreicht werden, daß die folgende Bedingung in etwa erfüllt ist:

$$f_{HW1} : f_{PW1} = f_{PW2} : f_{HW2}$$

[0063] Dabei sind:

f_{HW1} = Durchbiegung der Hartgußwalze (m)

f_{PW1} = Durchbiegung der Polymerwalze (m) jeweils im Neuzustand bei Umgebungstemperatur

f_{PW2} = Durchbiegung der Polymerwalze (m)

f_{HW2} = Durchbiegung der Hartgußwalze (m) jeweils im Zustand maximalen Verschleißes und bei maximaler Betriebstemperatur der Hartgußwalze.

Patentansprüche

1. Walzengruppe für einen Kalandr zur Bearbeitung von Materialbahnen, bestehend aus mindestens zwei Walzen mit jeweils einem Walzenkörper aus einem gegossenen Eisenwerkstoff, von denen mindestens eine die Referenzwalze, aus einem Hartguß- oder Schalenhartgußwerkstoff besteht und die anderen entweder auch aus Hart-

guß- oder Schalenhartguß oder aus einem Gußeisen mit lamellar, vermikular oder sphärisch ausgebildetem Graphit bestehen und mit einem elastischen Bezug versehen sein können,
mit mindestens jeweils einem angeschraubten Zapfen,
mit Durchmessern der Walzenkörper >500 mm,
mit einem Verhältnis von Bahnlänge: Durchmesser >7
mit einer Lagerung der Walzen in Wälzlagern im Bereich der Zapfen,

dadurch gekennzeichnet, daß

der Walzenkörper der Referenzwalze aus Hartguß- oder Schalenhartgußwerkstoff eine Zentralbohrung und eine Wandstärke zwischen 100 mm und 300 mm sowie eine natürliche Durchbiegung f_{ref} unter dem Einfluß der Schwerkraft bei einer Unterstützung in den Wälzlagern zwischen 0,1 und 0,2 mm je Meter Bahnlänge aufweist und die fertigen Bohrungsdurchmesser der anderen Walzen unter Berücksichtigung ihrer eigenen Gewichtskraft G im Bereich der Bahnlänge L und ihres mittleren Elastizitätsmoduls E so bestimmt werden, daß sich im wesentlichen gleiche Beträge für die Durchbiegung f ergeben, indem sie der folgenden Gleichung genügen:

$$\text{Bohrungsdurchmesser} = (D^4 - G \times K_G / (f \times E))^{1/4},$$

wobei

G = Gewichtskraft des Walzenkörpers (N) im Bereich der Bahnlänge L

E = Elastizitätsmodul (N/m²)

D = Außen-Durchmesser (m) des Walzenkörpers

f = angestrebte Durchbiegung (m) des Walzenkörpers

K_G = Gruppenkonstante (m³) nach der folgenden Gleichung

$$K_G = (5/(6 \times \pi)) L^3 (1 + 2,4 (LM-L) / L + 2 \times (D_{ref} / L)^2)$$

sowie

π = Kreiskonstante (3,14159...)

L = Bahnlänge der Walzengruppe (m)

LM = Lagermittenabstand der Walzengruppe (m)

D_{ref} = Durchmesser der Referenzwalze (m)

bedeuten.

2. Walzengruppe nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, daß

die Walzenkörper der darin vorhandenen Walzen mit peripheren Bohrungen ausgestattet sind, durch welche ein flüssiger oder kondensierbarer gasförmiger Wärmeträger zum Beheizen, Kühlen oder Temperieren geleitet werden kann und die fertigen Zentralbohrungsdurchmesser der Walzenkörper unter Berücksichtigung ihres Eigengewichtes G und ihres mittleren Elastizitätsmoduls E so bestimmt werden, daß sich im wesentlichen gleiche Beträge für die Durchbiegung f ergeben, indem sie der folgenden Gleichung genügen:

$$\text{Bohrungsdurchmesser} = (D^4 - Z_p \times D_p^2 (D_p^2 + 2 \times T_p^2) - G \times K_G / (f \times E))^{1/4},$$

wobei zusätzlich zu Anspruch 1

Z_p = Zahl der peripheren Bohrungen

D_p = Durchmesser (m) der peripheren Bohrungen

T_p = Teilkreis (m) der peripheren Bohrungen

bedeuten.

3. Walzengruppe nach Ansprüchen 1 und 2,

dadurch gekennzeichnet, daß

darin vorhandene, mit elastischen Bezügen versehene Walzen solche Bezüge mit einer Stärke zwischen 10 und 30 mm aufweisen.

4. Walzengruppe nach Ansprüchen 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet, daß

die Gewichte G der Walzenkörper ohne Zapfen, die nicht Referenzwalzen sind, im wesentlichen der folgenden Gleichung genügen:

$$G = G_{\text{ref}} \times E \times J \times f / (E_{\text{ref}} \times J_{\text{ref}} \times f_{\text{ref}})$$

wobei

G_{ref} = Gewicht des Referenzwalzenkörpers (N) (ohne Zapfen) im Bereich der Bahnlänge L

E_{ref} = Elastizitätsmodul des Referenzwalzenkörpers (N/m²)

J_{ref} = Trägheitsmoment des Querschnitts des Referenzwalzenkörpers (m⁴)

f_{ref} = Durchbiegung der Referenzwalze (m)

E = Elastizitätsmodul (N/m²)

J = Trägheitsmoment des Walzenquerschnitts (m⁴)

f = angestrebte Durchbiegung (m)

bedeuten.

5. Walzengruppe nach Ansprüchen 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, daß

der Körper der Referenzwalze aus einem anderen Werkstoff als Hartguß oder Schalenhartguß hergestellt ist.

6. Walzengruppe gemäß Ansprüchen 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, daß

für die Walzenkörper, die nicht Referenzwalzen sind, andere Werkstoffe, wie geschmiedeter Stahl oder Vergleichbares, verwendet werden.

7. Walzengruppe nach Ansprüchen 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, daß

von den dort getroffenen Festlegungen soweit abgewichen wird, daß die Verhältnisse der Durchbiegung von Hartgußwalzen : Polymerwalzen im neuwertigen Zustand bei niedrigen Betriebstemperaturen mit den Verhältnissen von Polymerwalzen : Hartgußwalzen im Zustand maximalen zulässigen Verschleißes bei hohen Betriebstemperaturen der Hartgußwalzen im wesentlichen gleich sind.

8. Walzengruppe nach mindestens einem der vorstehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, daß

alle oder einzelne Walzen mit einem Verdrängerkörper in der Zentralbohrung versehen sind, zwischen dem und der Innenseite der Bohrung des Walzenkörpers ein Wärmeträger fließt.

9. Walzengruppe nach mindestens einem der vorstehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, daß

die Außen-Durchmesser der Walzen untereinander im wesentlichen gleich sind.

10. Walzengruppe nach einem der vorstehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, daß

das Gewicht mindestens einer Walze durch zusätzliche axiale Bohrungen, die bevorzugt nahe bei der neutralen Faser der Walzenwand angeordnet sind, reduziert ist.

11. Walzengruppe nach Ansprüchen 1 bis 10,

dadurch gekennzeichnet, daß

die zentrale Bohrung und/oder die zusätzlichen axialen Bohrungen mit einem Ballaststoff, z.B. Wasser oder einem körnigen Medium, ganz oder teilweise befüllt sind.

12. Verfahren zur Herstellung einer Walzengruppe nach Ansprüchen 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, daß

unter Verwendung der Kennwerte der nach den maschinenbaulichen Vorgaben und der Berücksichtigung der in Anspruch 1 aufgeführten Bedingungen entwickelten Referenzwalze der Körperdurchmesser der mit einem Polymerbezug zu versehenen Walzenkerne im wesentlichen nach der Gleichung

$$D = D_{\text{rel}} - 2 \times (dp - ap)$$

bestimmt wird, wobei

D_{rel} = relativer Durchmesser (m)

dp = Dicke des neuen Polymerbezuges (m)

ap = max. mögliche Abnutzung des Polymerbezuges (m)

bedeuten,

und wobei der relative Durchmesser bei Walzenkörpern aus Gußeisen mit Kugelgraphit dem in der Reihe der Standarddurchmesser ungefähr nächstniedrigen (ca. -0,05 m), bei Walzenkörpern aus Grauguß mit vermikularem Graphit dem in der Reihe der Standard-Durchmesser ungefähr nächsthöheren (ca. +0,05 m) und bei Walzenkörpern aus Grauguss mit vermikularem Graphit ungefähr demjenigen der Referenzwalze, bzw. für beliebige Werkstoffe im wesentlichen der folgenden Gleichung entspricht:

$$D = (16 \times G \times K_G / (15 \times E \times f_{\text{ref}}))^{1/4},$$

wobei

G = Gewichtskraft (N) des Walzenkörpers im Bereich der Bahnlänge L

E = Elastizitätsmodul des Walzenkörpers (N/m^2)

f_{ref} = Durchbiegung (m) der Referenzwalze

K_G = Gruppenkonstante (m^3) nach der folgenden Gleichung:

$$K_G = (5/(6 \times \pi)) L^3 (1 + 2,4 (LM-L) / L + 2 \times (D_{\text{ref}} / L)^2)$$

sowie

n = Kreiskonstante (3,14159...)

L = Bahnlänge der Walzengruppe (m)

LM = Lagermittenabstand der Walzengruppe (m)

D_{ref} = Durchmesser der Referenzwalze (m)

bedeuten.

13. Verfahren zur Herstellung einer Walzengruppe nach Ansprüchen 1 bis 4 und 12,

dadurch gekennzeichnet, daß

die Bestimmung des maximal zulässigen Bohrungsdurchmessers der Zentralbohrung der Walzenkörper auch unter Berücksichtigung der nach den Betriebsvorgaben höchstzulässigen Ovalisierung des Walzenkörpers erfolgt.

14. Verfahren zur Herstellung einer Walzengruppe nach Ansprüchen 1 bis 4 und 12,

dadurch gekennzeichnet, daß

zur Einstellung der Biegegleichheit der Walzen aus Hartguß oder Schalenhartguß das resultierende Trägheitsmoment des Walzenquerschnitts durch Reduzierung des Außen-Durchmessers innerhalb der üblichen Fertigungstoleranz von +/- 1% verändert wird.

15. Verfahren zur Herstellung einer Walzengruppe nach Ansprüchen 1 bis 4 und 12,

dadurch gekennzeichnet, daß

die weitgehende Biegegleichheit der Walzen in der Walzengruppe dadurch hergestellt wird, daß zunächst der

tatsächliche mittlere Elastizitätsmodul der Walzenkörper im Verlauf von deren Fertigung festgestellt wird, indem die Biegung, die sich aus dem Eigengewicht oder beim Aufbringen mindestens einer externen Kraft ergibt, gemessen oder die Eigenfrequenz bestimmt wird und sodann der fertige Außen-Durchmesser des Walzenkörpers im Rahmen üblicher Fertigungstoleranzen von +/- 1% und der fertige Innen-Durchmesser der Bohrung des Walzenkörpers entsprechend der jeweiligen örtlichen Elastizitätsmoduli festgelegt und erzeugt werden.

16. Verfahren zur Herstellung einer Walzengruppe nach Ansprüchen 1 bis 4 und 12,
dadurch gekennzeichnet, daß
bei der Bestimmung der Durchbiegung im späteren Betrieb die in die peripheren Bohrungen oder in die Zentralbohrungen eingeleitete Wärmeträgermenge bestimmt, geregelt und gesondert berücksichtigt wird.
17. Verfahren zur Herstellung einer Walzengruppe nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, daß
die teilweise oder vollständige Befüllung der Walzen mit dem Ballaststoff nach der Fertigstellung vorgenommen und verändert wird.
18. Verfahren zur Herstellung einer Walzengruppe nach Ansprüchen 1 bis 4 und 12,
dadurch gekennzeichnet, daß
zur Vermeidung von unerwünschten Schwingungen der Walzen die einzelnen Walzengruppen der Walzen so dimensioniert werden, daß sie nicht in der Nähe der halbkritischen Drehzahl betrieben werden müssen.

Claims

1. Roller assembly for a calender for processing material webs, comprising at least two rollers, each with a roller body from a cast ferrous material, of which at least one, the reference roller, is made from a chilled casting material or clear chilled casting material and the others are made either also from chilled- or clear chilled casting or from a cast iron with lamellar, vermicular or spheroidal formed graphite and may be provided with an elastic covering, with at least one screwed-on pivot in each case,
with diameters of the roller bodies >500 mm,
with a web length : diameter ratio >7,
with a mounting of the rollers in roller bearings in the region of the pivots,
characterised in that
the roller body of the reference roller from chilled cast material or clear chilled cast material has a central drilling and a wall thickness of between 100 mm and 300 mm as well as a natural deflection f_{ref} under the influence of gravity with a support in the roller bearings between 0.1 and 0.2 mm per metre web length
and the finished drilling diameters of the other rollers, taking into account their own weight G in the region of the web length L and their mean modulus of elasticity E, are determined to give essentially the same amounts for the deflection f while fitting the following equation:

$$\text{Drilling diameter} = (D^4 - G \times K_G / (f \times E))^{1/4},$$

wherein

- G = weight of the roller body (N) in the region of the web length L
E = modulus of elasticity (N/m²)
D = outer diameter (m) of the roller body
f = desired deflection (m) of the roller body
K_G = group constant (m³) according to the following equation

$$K_G = (5/(6 \times \pi)) L^3 (1 + 2.4 (LM-L) / L + 2 \times (D_{ref} / L)^2)$$

and

- π = circle constant (3.14159...)
L = web length of roller assembly (m)

LM = bearing centre distance of roller assembly (m)

D_{ref} = diameter of reference roller (m)

2. Roller assembly according to claim 1,

characterised in that

the roller bodies of the rollers present therein are equipped with peripheral drillings, through which can be passed a liquid or condensable gaseous heat transfer medium for heating, cooling or tempering, and the finished central drilling diameter of the roller bodies, taking into account their weight G and their mean modulus of elasticity E, are determined to give essentially the same amounts for the deflection f, while fitting the following equation:

$$\text{Drilling diameter} = (D^4 - Z_p \times D_p^2 (D_p^2 + 2 \times T_p^2) - G \times K_G / (f \times E))^{1/4},$$

wherein additionally to claim 1

Z_p = number of peripheral drillings

D_p = diameter (m) of peripheral drillings

T_p = pitch circle (m) of peripheral drillings.

3. Roller assembly according to claims 1 and 2

characterised in that

rollers present therein provided with elastic coverings have such coverings with a thickness of between 10 and 30 mm.

4. Roller assembly according to claims 1 to 3,

characterised in that

the weights G of the roller bodies without pivots, which are not reference rollers, essentially fit the following equation:

$$G = G_{\text{ref}} \times E \times J \times f / (E_{\text{ref}} \times J_{\text{ref}} \times f_{\text{ref}})$$

wherein

G_{ref} = weight of the reference roller body (N) (without pivot) in the region of the web length L

E_{ref} = modulus of elasticity of reference roller body (N/m²)

J_{ref} = moment of inertia of the cross-section of the reference roller body (m⁴)

f_{ref} = deflection of reference roller (m)

E = modulus of elasticity (N/m²)

J = moment of inertia of roller cross-section (m⁴)

f = desired deflection (m).

5. Roller assembly according to claims 1 to 4,

characterised in that

the body of the reference roller is made from a material other than chilled cast iron or clear chilled cast iron.

6. Roller assembly according to claims 1 to 4,

characterised in that

for the roller bodies which are not reference rollers, other materials such as forged steel or a comparable material are used.

7. Roller assembly according to claims 1 to 4,

characterised in that

the arrangements stipulated there are deviated from inasmuch as the ratios of the deflection of chilled cast iron rollers : polymer rollers in the new state at low operating temperatures are essentially the same as the ratios of polymer rollers : chilled cast iron rollers in the state of maximum acceptable wear at high operating temperatures of the chilled cast iron rollers.

8. Roller assembly according to at least one of the above claims,

characterised in that

all or individual rollers are provided with a displacement body in the central drilling, between which and the inside of the drilling of the roller body flows a heat transfer medium.

9. Roller assembly according to at least one of the above claims,

characterised in that

the outer diameter of the rollers among themselves are essentially the same.

10. Roller assembly according to one of the above claims,

characterised in that

the weight at least of one roller is reduced by additional axial drillings which are preferably arranged close by the neutral axis of the roller wall.

11. Roller assembly according to claims 1 to 10,

characterised in that

the central drilling and/or the additional axial drillings are wholly or partly filled with a ballast material, e.g. water or a granular medium.

12. Process for producing a roller assembly according to claims 1 to 4,

characterised in that

using the characteristic values of the reference roller developed according to the mechanical engineering data specified and taking account of the conditions listed in claim 1, the body diameter of the roller cores to be provided with a polymer covering is essentially determined according to the equation

$$D = D_{\text{ref}} - 2 \times (dp - ap)$$

wherein

D_{ref} = relative diameter (m)

dp = thickness of the new polymer covering (m)

ap = max. possible wear of the polymer covering (m)

and wherein in the case of roller bodies from cast iron with spheroidal graphite the relative diameter corresponds roughly to the next-lower in the standard diameter series (approx. -0.05 m), in the case of roller bodies from grey cast iron with vermicular graphite roughly to the next-higher in the standard diameter series (approx. +0.05) and in the case of roller bodies from grey cast iron with vermicular graphite roughly to that of the reference roller, or for optional materials essentially to the following equation:

$$D = (16 \times G \times K_G / (15 \times E \times f_{\text{ref}}))^{1/4},$$

wherein

G = weight (N) of the roller body in the region of web length L

E = modulus of elasticity of the roller body (N/m²)

f_{ref} = deflection (m) of the reference roller

K_G = group constant (m³) according to the following equation:

$$K_G = (5 / (6 \times \pi)) L^3 (1 + 2.4 (LM - L) / L + 2 \times (D_{\text{ref}} / L)^2)$$

and

π = circle constant (3.14159 ...)

L = web length of roller assembly (m)

LM = bearing centre distance of roller assembly (m)

D_{ref} = diameter of reference roller (m).

13. Process for producing a roller assembly according to claims 1 to 4 and 12,
characterised in that
the maximum acceptable drilling diameter of the central drilling of the roller body is also determined taking into account the maximum permissible ovalisation of the roller body in accordance with the operating data.
14. Process for producing a roller assembly according to claims 1 to 4 and 12,
characterised in that
to adjust the flexural uniformity of the rollers from chilled cast iron or clear chilled cast iron, the resultant moment of inertia of the roller cross-section is changed by reducing the outer diameter within the usual manufacturing tolerance of +/- 1%.
15. Process for producing a roller assembly according to claims 1 to 4 and 12,
characterised in that
the extensive flexural uniformity of the rollers in the roller assembly is produced by the actual mean modulus of elasticity of the roller bodies first being established in the course of their fabrication, with the deflection resulting from the empty weight or when applying at least one external force being measured or the natural frequency determined, and the finished external diameter of the roller body then being fixed and produced according to the particular local moduli of elasticity within the framework of standard manufacturing tolerances of +/- 1% and the finished internal diameter of the drilling of the roller body.
16. Process for producing a roller assembly according to claims 1 to 4 and 12,
characterised in that
when determining the deflection in subsequent operation the amount of heat transfer medium introduced into the peripheral drillings or into the central drillings is controlled and taken separately into account.
17. Process for producing a roller assembly according to claim 6,
characterised in that
the partial or complete filling of the rollers with the ballast material is effected and changed after completion.
18. Process for producing a roller assembly according to claims 1 to 4 and 12,
characterised in that
to avoid undesirable vibrations of the rollers the individual roller assemblies of the rollers are dimensioned so that they need not be operated close to the semicritical speed.

Revendications

1. Groupe de cylindres pour une calandre destiné au traitement de bandes de matériaux, composé d'au moins deux cylindres comprenant chacun un corps de cylindre en produit ferreux coulé, dont l'un au moins, le cylindre de référence, est fait de fonte dure ou de fonte trempée, et les autres également soit de fonte dure ou de fonte trempée ou bien de fonte de fer avec du graphite formé lamellaire, vermiculaire ou sphéroïdal, et qui puissent être munis d'un revêtement élastique, comportant chacun au moins un pivot à bride vissé, avec des diamètres de corps de cylindre > 500 mm, avec un rapport longueur de bande : diamètre > 7, avec une suspension des cylindres dans des paliers à roulement au niveau des pivots à bride, **caractérisé** de la manière suivante:
que le corps de cylindre du cylindre de référence en fonte dure ou en fonte trempée présente un perçage central et une épaisseur de paroi comprise entre 100 mm et 300 mm ainsi qu'une flèche naturelle $f_{réf}$ sous l'influence de la pesanteur pour un appui dans les paliers de roulement compris entre 0,1 et 0,2 mm par mètre de longueur de bande
et que les diamètres de perçage façonnés des autres cylindres, en tenant compte de leur propre poids G dans le secteur de longueur de bande L et de leur module d'élasticité E, puissent être déterminés de manière à ce qu'il en résulte pour l'essentiel des valeurs identiques pour la flèche f, en satisfaisant à l'équation suivante:

$$\text{diamètre d'alésage} = (D^4 - G \times K_G / (f \times E))^{1/4},$$

dans laquelle les termes suivants signifient

G = poids du corps de cylindre (N) dans le secteur de longueur de voie L
 E = module d'élasticité (N/m²)
 D = diamètre extérieur (m) du corps de cylindre
 f = flèche souhaitée (m) du corps de cylindre
 K_G = constante de groupe (m³) selon l'équation suivante

$$K_G = (5/(6 \times \pi)) L^3 (1 + 2,4 (LM-L) / L + 2 \times (D_{\text{réf}} / L)^2)$$

et

π = constante du cercle (3,14159...)
 L = longueur de bande du groupe de cylindres (m)
 LM = entraxe des paliers du groupe de cylindres (m)
 D_{réf} = diamètre du cylindre de référence (m)

2. Groupe de cylindres selon la spécification 1, caractérisé de la manière suivante:

que les corps de cylindre des cylindres existants soient équipés de perçages périphériques par lesquels il est possible d'acheminer un fluide caloporteur gazeux, liquide ou condensable, pour chauffer, refroidir ou tempérer et que le diamètre central du perçage façonné des corps de cylindre, en tenant compte de leur propre poids G et de leur module d'élasticité moyen E, puisse être déterminé de manière qu'il en résulte pour l'essentiel des valeurs identiques pour la flèche f, en satisfaisant à l'équation suivante:

$$\text{diamètre de perçage} = (D^4 - Z_p \times D_p^2 (D_p^2 + 2 \times T_p^2) - G \times K_G / (f \times E))^{1/4}$$

dans laquelle les termes suivants signifient, en plus de la spécification 1

Z_p = nombre de perçages périphériques
 D_p = diamètre (m) des perçages périphériques
 T_p = cercle de référence (m) des perçages périphériques

3. Groupe de cylindres selon les spécifications 1 et 2, caractérisé de la manière suivante:

que les cylindres existants munis de revêtements élastiques présentent des revêtements d'une épaisseur comprise entre 10 et 30 mm.

4. Groupe de cylindres selon les spécifications 1 à 3 caractérisé de la manière suivante:

que le poids G des corps de cylindre sans pivot à bride, qui ne sont pas des cylindres de référence, satisfasse pour l'essentiel à l'équation suivante:

$$G = G_{\text{réf}} \times E \times J \times f / (E_{\text{réf}} \times J_{\text{réf}} \times f_{\text{réf}})$$

dans laquelle les termes suivants signifient

G_{réf} = poids du corps du cylindre de référence (N) (sans pivot à bride) dans le secteur de la longueur de voie L
 E_{réf} = module d'élasticité du corps de cylindre de référence (N/m²)
 J_{réf} = moment d'inertie du profil du corps de cylindre de référence (m⁴)
 f_{réf} = flèche du cylindre de référence (m)
 E = module d'élasticité (N/m²)

EP 1 100 993 B1

J = moment d'inertie du profil du cylindre (m^4)

f = flèche souhaitée (m)

5. Groupe de cylindres selon les spécifications 1 à 4,
caractérisé de la manière suivante:

le corps du cylindre de référence est fabriqué dans un autre matériau que la fonte dure ou la fonte trempée

6. Groupe de cylindres selon les spécifications 1 à 4,
caractérisé de la manière suivante:

que pour les corps de cylindre qui ne sont pas des cylindres de référence, d'autres matériaux, tels que le fer forgé ou quelque chose de comparable, soit utilisé.

7. Groupe de cylindres selon les spécifications 1 à 4,
caractérisé de la manière suivante:

que l'on s'écarte des remarques faites, pour autant que les rapports de flèche de cylindres en fonte dure : cylindres en polymère à l'état neuf pour des températures de fonctionnement basses soient pour l'essentiel égaux aux rapports cylindres en polymère : cylindres en fonte dure en état d'usure maximale autorisée pour des hautes températures de fonctionnement des cylindres en fonte dure.

8. Groupe de cylindres selon au moins une des spécifications précédentes,
caractérisé de la manière suivante:

que tous les cylindres ou certains d'entre eux soient munis d'un corps déplaceur dans le perçage central, entre lequel et l'intérieur du perçage du corps du cylindre un fluide caloporteur circule.

9. Groupe de cylindres selon au moins une des spécifications précédentes
caractérisé de la manière suivante:

que les diamètres extérieurs des cylindres l'un par rapport à l'autre soient pour l'essentiel égaux

10. Groupe de cylindres selon une des spécifications précédentes
caractérisé de la manière suivante:

le poids d'au moins un cylindre est diminué par des perçages axiaux supplémentaires, placés de préférence à proximité des fibres neutres de la paroi du cylindre.

11. Groupe de cylindres selon les spécifications 1 à 10
caractérisé de la manière suivante:

le perçage central et / ou les perçages axiaux supplémentaires sont entièrement ou en partie remplis avec une substance de lest, p. ex. de l'eau ou un milieu granulé.

12. Procédé de fabrication d'un groupe de cylindres selon les spécifications 1 à 4
caractérisé de la manière suivante

en utilisant les paramètres du cylindre de référence mis au point conformément aux contraintes de construction de machine et en tenant compte des conditions citées dans la spécification 1, que le diamètre du corps du corps de cylindre à munir d'un revêtement en polymère soit déterminé pour l'essentiel selon l'équation

$$D = D_{\text{réf}} - 2 \times (dp - ap)$$

dans laquelle les termes suivants signifient

$D_{\text{réf}}$ = diamètre relatif (m)

EP 1 100 993 B1

dp = épaisseur du nouveau revêtement en polymère (m)
ap = usure maximale possible du revêtement en polymère (m)

et dans laquelle le diamètre relatif, pour les corps de cylindre en fonte de fer avec du graphite sphéroïdal correspond à celui à peu près immédiatement inférieur (env. - 0,05 m) dans la suite des diamètres standard, pour les corps de cylindre en fonte grise avec graphite vermiculaire correspond à celui à peu près immédiatement supérieur (env. + 0,05 m) dans la suite des diamètres standard et pour les corps de cylindre en fonte grise avec graphite vermiculaire correspond à peu près à celui du cylindre de référence, ou bien pour n'importe quel matériau, correspond pour l'essentiel à l'équation suivante:

$$D = (16 \times G \times K_G / (15 \times E \times f_{\text{réf}}))^{1/4},$$

dans laquelle les termes suivants signifient

G = poids (N) du corps de cylindre dans la zone de longueur de voie L
E = module d'élasticité du corps de cylindre (N/m²)
f_{réf} = flèche (m) du cylindre de référence
K_G = constante de groupe (m³) selon l'équation suivante:

$$K_G = (5 / (6 \times \pi)) L^3 (1 + 2,4 (LM-L) / L + 2 \times (D_{\text{réf}} / L)^2)$$

et

π = constante de cercle (3,14159...)
L = longueur de bande du groupe de cylindres (m)
LM = entraxe des paliers du groupe de cylindres (m)
D_{réf} = diamètre du cylindre de référence (m)

13. Procédé de fabrication d'un groupe de cylindres selon les spécifications 1 à 4 et 12, caractérisé de la manière suivante:

la détermination du diamètre de perçage maximal autorisé du perçage central du corps du cylindre se fait également en tenant compte de l'ovalisation maximale autorisée du corps de cylindre conformément aux contraintes de fonctionnement.

14. Procédé de fabrication d'un groupe de cylindres selon les spécifications 1 à 4 et 12, caractérisé de la manière suivante:

le moment d'inertie résultant du profil du cylindre doit être modifié par réduction du diamètre extérieur dans les limites normales de tolérance de fabrication de + / - 1 % pour le réglage de l'égalité de flexion des cylindres en fonte dure ou en fonte trempée.

15. Procédé de fabrication d'un groupe de cylindres selon les spécifications 1 à 4 et 12, caractérisé de la manière suivante:

à quelques détails près, l'égalité de flexion des cylindres dans le groupe de cylindre doit être établie par le fait que, dans un premier temps, le module d'élasticité moyen réel du corps de cylindre sera établi au cours de sa fabrication, en mesurant la flèche qui résulte de son propre poids ou de l'application d'au moins une force externe, ou la fréquence propre déterminée, et de telle manière que le diamètre extérieur achevé du corps de cylindre et le diamètre intérieur achevé du perçage du corps de cylindre soient fixés et fabriqués dans le cadre des tolérances normales de fabrication de + / - 1 % en fonction de chacun des modules d'élasticité locaux.

16. Procédé de fabrication d'un groupe de cylindres selon les spécifications 1 à 4 et 12, caractérisé de la manière suivante:

la quantité de fluide caloporteur introduite dans les perçages périphériques ou dans les perçages centraux

EP 1 100 993 B1

est déterminée, régulée et il en est tenu compte séparément pour la détermination de la flèche au cours du fonctionnement ultérieur.

17. Procédé de fabrication d'un groupe de cylindres selon la spécifications 6

5 **caractérisé** de la manière suivante:

il sera procédé au remplissage complet ou partiel des cylindres avec la substance de lest ou à sa modification après la fabrication

18. Procédé de fabrication d'un groupe de cylindres selon les spécifications 1 à 4 et 12,

10 **caractérisé** de la manière suivante:

pour éviter les vibrations indésirables des cylindres, chacun des groupes de cylindres des cylindres doit être dimensionné de telle manière qu'il ne doive pas s'approcher du régime semi-critique.

15

20

25

30

35

40

45

50

55